تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهارم، شماره ۲، پائیز ۱۳۸۷
Volume 4, No. 2, Fall 2008 (IR-WRR)
۷۵-۷۹

تاریخ پذیرش گزارش فنی: ۲۱ مهر ۱۳۸۷

گزارش فنی

تحلیل پدیده‌های هیدرولیک با رویکرد الکتریک

یاسین اسروش[۱]، سیّد فرهاد موسوی[۲]
و بهروز مصطفی زاده فرد[۲]

چکیده

شباهت‌های زیاد جریان الکتریسیته و مایعات، باعث شده تا برای تشریح برخی پدیده‌ها در علم برق از نحوه رفتار مایعات الهام گرفته شود. با توجه به نزدیکی الکتریسیته و هیدرولیک، می‌توان هیدرولیک را از منظری نو و با رویکردی الکتریکی تشریح نمود. در تحقیق حاضر، با دیدگاهی جدید، اقدام به تعریف جزئیات دوگان‌های مشابه پدیده‌های الکتریکی در هیدرولیک گردید. عناصر و پدیده‌های اساسی ارائه و تعریف شدند که از آن جمله تعریف معادل برای میدان مغناطیسی در هیدرولیک و معادل الکتریکی سیستم لوله- سیال می‌باشد. برخی روابط شناخته شده هیدرولیکی با استفاده از فرمول‌های الکتریکی به دست آمده‌اند. فرمول‌های سیالات به شکل مرسوم در الکتریک تنظیم و دسته‌بندی شده و مثال‌هایی از شماتیک سیستم‌های سیالاتی ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: برق، هیدرولیک، شماتیک، فرمول‌های الکتریکی.

تاریخ دریافت گزارش فنی: ۱۹ شهریور ۱۳۸۶

۱- دانشجوی سابق کارشناسی، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- اساتید گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

Technical Report

Analysis of Hydraulic Phenomena Using Electrical Approach

Y. Osroosh [1], S.F. Mousavi [2], and B. Mostafazadeh-Fard [2]

Abstract

So far, the similarity of the electrical current to the liquid flow characteristics were the basis of many studies regarding electrical phenomena. Accordingly hydraulics may also benefits from this similarity. In the present study, analogs in electrics and hydraulics are stated using this new viewpoint. The basic elements and phenomena are presented and defined, among which are the equivalent definition of electromagnetic fields in hydraulic applications and the electric equivalent for the pressurized fluid. Some hydraulic relations are derived from electrical laws. The fluid mechanics formulas are accordingly classified into new groups Some schematic representations are also presented.

Keywords: Electrics, Hydraulics, Schematic, Electrical Laws.

1- Former BS Student, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.
2- Profs., College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111 Iran.

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

قطعات در علم الکترونیک کاملاً تعریف شده‌اند. هر کدام نام، شکل ظاهری، مشخصات و فرمول مخصوص به خود داشته و بدین وسیله به راحتی قابل شناسایی هستند (سپیدنام و باغانی، ۱۳۸۰). در ترسیم یک شماتیک الکتریکی، به جای شکل واقعی قطعات از نمادهایی که در عین سادگی، دور از ذهن نبوده و باعث شلوغی نگردند استفاده می‌شود (ملک‌زاده و همکاران، ۱۳۷۵) و معمولاً مقاومت، ظرفیت و ولتاژ در کنار آنها ذکر می‌گردد. این سبب می‌گردد تا شماتیک ترسیمی به راحتی به وسیله نرم افزاری که حاوی فرمول‌ها و تعاریف قطعات است تحلیل گردیده و طراح از صحت هر بخش از سیستم مطلع شود. ارائه شماتیک محاسباتی قابل استفاده در هیدرولیک نیاز به نگرشی نو دارد. در این مورد، فرمول‌ها و قواعد عوض نمی‌شوند، بلکه نظم حاکم بر قواعد الکتریک به کمک هیدرولیک می‌آید.

۲- مواد و روش‌ها

در این مقاله، برخلاف مقالات تحقیقی یا تحلیلی معمول، از ماده یا روش خاصی استفاده نشده است. آنچه که مد نظر است، استفاده از شباهت‌های الکتریسیته با هیدرولیک جریان آب است تا بتوان مسائل پیچیده جریان را راحت‌تر توسط رسم شماتیک‌های محاسباتی حل کرد (یوسف‌زاده، ۱۳۸۲).

۳- الکترواستاتیک و هیدرواستاتیک

۳-۱- ظرفیت

با استفاده از قوانین الکتریسیته، روابط مشابه هیدرولیکی زیر قابل معرفی هستند:

$$F = m_o g \qquad (۱)$$

که F نیرو، m_o جرم واحد حجم سیال و g شتاب ثقل می‌باشند.

$$q_o = V_o = \delta V \qquad (۲)$$

که V_o حجم واحد و δV حجم جزیی سیال بوده و بار (q_o) در الکتریسیته با حجم واحد سیال در هیدرولیک معادل گرفته می‌شوند.

میدان هیدرولیکی (وزن مخصوص):

$$\gamma_o = \rho_o g \qquad (۳)$$

پتانسیل هیدرولیکی (فشار):

$$P = \gamma_o h \qquad (۴)$$

ظرفیت مخزن:

$$C = v / P \qquad (۵)$$

که v بار مخزن (کل حجم سیال موجود در مخزن) است که با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$v = k\gamma_o A \qquad (۶)$$

$$k = \frac{h}{\gamma_o} \qquad (۷)$$

رابطه (۶) با استفاده از معادل آن در الکتریسیته ($q = \varepsilon_o EA$) به دست آمده است. برای یک مخزن ساده استوانه‌ای شکل به ارتفاع h و سطح مقطع A، می‌توان نوشت:

$$C = k\frac{A}{h} \qquad (۸)$$

شکل ۱ نماد یک مخزن را در هیدرولیک نشان می‌دهد.

شکل ۱- نماد مخزن

۴- الکترودینامیک و هیدرودینامیک

در تعریف جدید، دبی جریان سیال و جریان الکترون‌ها در رسانا معادل هم فرض می‌شوند:

$$i = Q \qquad (۹)$$

۴-۱- مقاومت

مجموعه خواصی از سیال و لوله که ثابت هستند و می‌توان آنها را مشخصات ذاتی به حساب آورد تحت عنوان مقاومت، R، نام‌گذاری می‌گردد. می‌توان گفت که سیستم لوله- سیال دارای مقاومتی معین است (معادله دارسی- وایسباخ) (ملک‌زاده و همکاران، ۱۳۷۵):

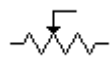
$$R = f\frac{\rho_o L}{2DA^2} \qquad (۱۰)$$

$$P = Q^2 R \qquad (۱۱)$$

این رابطه نظیر $V = iR$ است و می‌توان لوله را رسانایی دانست که از قانون اهم تبعیت نمی‌کند. شکل ۲ نماد مقاومت است.

شکل ۲- نماد مقاومت

معادل شیر، پتانسیومتر است که در مدار الکتریکی اجازه تغییر جریان عبوری را می‌دهد. شکل ۳ نماد شیر را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نماد شیر

Archive of SID
www.SID.ir

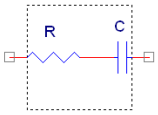
۴-۲- دیود

شیر یک طرفه معادل هیدرولیکی دیود است. شکل ۴ نماد شیر یک طرفه را نشان می‌دهد.

شکل ۴- نماد شیر یک طرفه

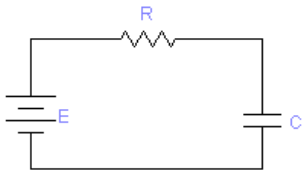
۴-۳- مدار RC

چون مخزن در ورودی خود دارای مقاومت نسبت به جریان است، مدار سری خازن و مقاومت، نمایش دقیق‌تری از آن می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵- نماد مخزن به همراه مقاومت ورودی

عملکرد یک مخزن مایع و نحوه پر و خالی شدن آن مانند خازن الکتریکی در مدار است (شکل ۶).



شکل ۶- مدار RC، متشکل از یک مخزن و یک مقاومت

با استفاده از قضیه حلقه (موسوی، ۱۳۸۳)که از اصل پایستگی انرژی گرفته شده است، برای یک مخزن سیال می‌توان نوشت:

$$Q = \frac{dv}{dt} \qquad (۱۲)$$

$$P_\varepsilon - Q^2 R - \frac{v}{C} = 0 \qquad (۱۳)$$

۴-۴- پتانسیل

از آنجایی که جهت حرکت سیال با گذشت زمان تغییر نمی‌کند معادل جریان/ولتاژ DC در نظر گرفته می‌شود (گلستانیان و بهار، ۱۳۷۶). اگر منبع تأمین انرژی سیال اختلاف ارتفاع و انرژی پتانسیل باشد، بهترین معادل الکتریکی برای آن پیل است که دارای دو مشخصه مقاومت درونی (r) و ولتاژ (P_ε) می‌باشد. برای یک مخزن، مقاومت درونی می‌تواند مقاومت محل خروج سیال و نقطه اتصال آن به لوله باشد. شکل ۷ نماد منبع را نشان می‌دهد.

شکل ۷ - نماد منبع

رابطه بین فشار (P) و دبی (Q) پمپ به صورت زیر بیان می‌شود. شکل ۸ نماد پمپ را نشان می‌دهد.

$$V = f(i) \quad \text{یا} \quad P = f(Q) \qquad (۱۴)$$

شکل ۸- نماد پمپ

۵- میدان مغناطیسی و القای الکترومغناطیس

۵-۱- القاگر

القاگرها مانند رساناها یک مقاومت ثابت ندارند. رابطه بین ولتاژ و جریان برای یک القاگر به صورت زیر است:

$$V = L\frac{di}{dt} \qquad (۱۵)$$

که V ولتاژ لحظه‌ای در القاگر، L ظرفیت القایی برحسب هنری و $\frac{di}{dt}$ میزان تغییر جریان لحظه‌ای (آمپر در ثانیه) است (گلستانیان و بهار، ۱۳۷۶). ظرفیت القای مغناطیسی یک سیم راست و مستقیم عبارت است از:

$$L = 0.0002b[(2.303Log_{10}^{\frac{4b}{d}}) - 0.8] \qquad (۱۶)$$

که L ظرفیت القایی، μH، d قطر سیم بر حسب mm و b طول سیم بر حسب mm می‌باشند (Kuphaldt, 2006).

سیستم لوله- سیال شباهت بسیار زیادی به یک القاگر دارد. شکل ۹ نماد لوله در حالت القایی را نشان می‌دهد.

شکل ۹- نماد لوله (در حالت القایی)

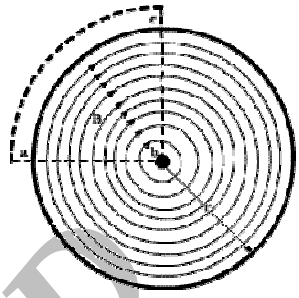
در دیدگاه ارائه شده فرض می‌شود که در اثر عبور جریان از لوله، میدانی از انرژی (مشابه میدان الکترومغناطیس) ایجاد می‌گردد که منطقه حضور آن حجم سیال است و بزرگی آن با مقدار جریان نسبت مستقیم دارد. این تعریف شبیه آمپر در الکتریسیته است.

Archive of SID

www.SID.ir

۵-۲- فشار القایی

فشار القایی، فشاری است که در وضعیت انتقالی (غیر ماندگار) مانند باز و بسته شدن شیرها در سیستم لوله- سیال به وجود می‌آید و با افزایش فشار یا کاهش آن در لوله (شکل ۱۰) مخالفت می‌کند.



شکل ۱۰- مقطع لوله (یا سیم رسانا)

با استفاده از قانون آمپر:

$$B = \frac{\mu_o Q}{2\pi r} \qquad (۱۷)$$

که B بزرگی میدان معادل مغناطیسی جریان سیال، r شعاع لوله و Q دبی جریان می‌باشند. μ_0 کمیتی است که با سرعت امواج در سیال ارتباط دارد (گلستانیان و بهار، ۱۳۷۶).

با استفاده از رابطه شار مغناطیسی:

$$\phi_B = \int B.dS = BA \qquad (۱۸)$$

$$A = rl \qquad (۱۹)$$

که A مساحت مؤثر و برابر با مساحت مستطیلی به ابعاد r (شعاع لوله) و l طول لوله است (گلستانیان و بهار، ۱۳۷۶).

۶- قوانین تحلیل مدارهای هیدرولیکی

- جمع جبری همه فشارها در یک حلقه باید برابر صفر باشد (معادل قانون ولتاژ Kirchhoff) (Kuphaldt, 2006).
- جمع جبری همه جریان‌های وارد شونده و خارج شونده یک گره باید معادل صفر باشد (معادل قانون جریان کرشوف).
- قطعات در یک مدار سری از جریان یکسانی سهم می‌برند:

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2 = ... = Q_n$$

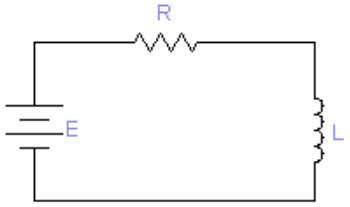
- جریان کل در یک مدار موازی برابر است با جمع جریان شاخه‌های تکی: $Q_{total} = Q_1 + Q_2 + ... + Q_n$
- فشار کل در یک مدار سری برابر است با جمع افت فشارهای متوالی: $P_{total} = P_1 + P_2 + ... + P_n$
- عناصر در یک مدار موازی افت پتانسیل یکسانی دارند:

$$P_{total} = P_1 = P_2 = ... = P_n$$

۶-۱- مدار LR

اگر پتانسیل به یک مدار (سیستم) لوله القاگر (شکل ۱۱) اعمال شود، تأخیری در افزایش (یا کاهش) جریان ایجاد می‌گردد. با گذشت زمان آهنگ افزایش جریان کاهش می‌یابد و نیروی محرکه خودالقایی کوچکتر می‌شود (گلستانیان و بهار، ۱۳۷۶). بر اساس قضیه حلقه و با استفاده از قانون لنز(Lenz) (موسوی، ۱۳۸۳) و برای یک مدار هیدرولیکی:

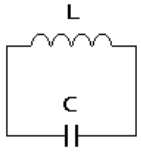
$$-Q^2 R - L\frac{dQ}{dt} + P_\varepsilon = 0 \qquad (۲۰)$$



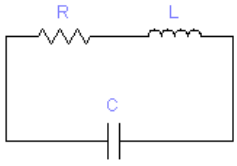
شکل ۱۱- مدار LR

۶-۲- مدارهای LC و RLC

برای تحلیل لوله القاگر، پارامترهای ظرفیت، مقاومت و خاصیت القایی بررسی می‌شوند. از دیدگاه جدید، پدیده ضربه آبی و تغییرات فشار غیر ماندگار ناشی از آن به صورت دستگاه LC، برای حالت پایدار (نامیرا) و RLC (حالت میرا) قابل تحلیل است. در صورت فرض عدم وجود اصطکاک (مقاومت)، سیستم دارای وضعیتی نامیرا خواهد شد. چنین مداری یک خازن و القاگر دارد (شکل ۱۲). در حالت واقعی که اصطکاک وجود دارد، مدار متشکل از خازن، القاگر و مقاومت (شکل ۱۳) خواهد بود.



شکل ۱۲- مدار LC

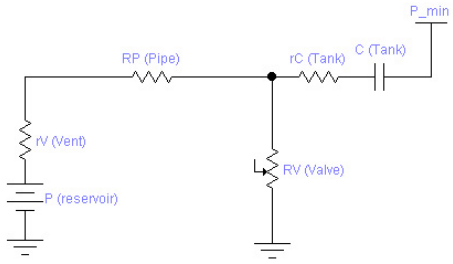


شکل ۱۳- مدار RLC

۷- شماتیک محاسباتی

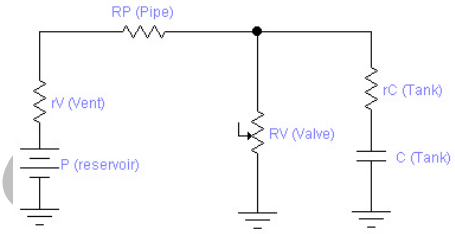
با توجه به علائم قراردادی فوق، می‌توان یک سیستم هیدرولیکی را به صورت شماتیک ترسیم نمود. مثال‌های زیر کاربرد نمادهای پیشنهاد شده را نشان می‌دهند. اگر یک مخزن تحت فشار برای کنترل موج یا تموج در کنار شیر خروجی کار گذاشته شود:

Archive of SID
www.SID.ir



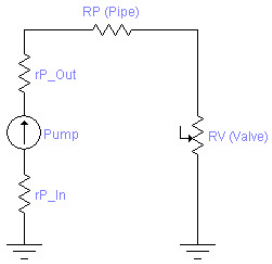
شکل ۱۴- مخزن تحت فشار، لوله و شیر

اگر مخزن از نوع ساده باشد، باید با سطح پتانسیل صفر مرتبط باشد:

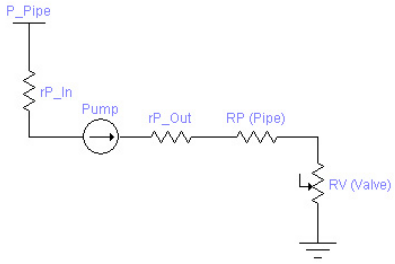


شکل ۱۵- مخزن نوع ساده، لوله و شیر

استفاده از پمپ به دو صورت معمول است:) پمپاژ از سطح آزاد و پمپاژ از لوله. در شکل‌های زیر مقاومت ورودی پمپ (مکش) با rP_In و خروجی پمپ (رانش) با rP_Out نشان داده شده است.

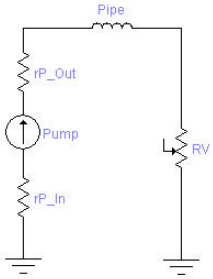


شکل ۱۶- پمپاژاز سطح آزاد



شکل ۱۷- پمپاژ از لوله

در بررسی مدار در حالت انتقالی، می‌توان از نماد اصلی لوله که نشان دهنده خاصیت القایی آن است استفاده کرد:



شکل ۱۸- مدار در حالت انتقالی

۸- جمع‌بندی

با توجه به قرابت هیدرولیک و الکتریسیته، در این تحقیق اقدام به تعریف جزئیات تشابه پدیده‌های الکتریکی در هیدرولیک گردید. عناصر و پدیده‌های اساسی ارائه و تعریف شدند. برخی روابط شناخته شده هیدرولیکی با استفاده از فرمول‌های الکتریکی به دست آمدند. مثال‌هایی از شماتیک سیستم‌های سیالاتی ارائه گردید. این شماتیک‌ها در امور هیدرولیک استفاده می‌شود.

۹- مراجع

سپیدنام، ق. و باغانی، خ. (۱۳۸۰)، قطعات و مدارات الکترونیک، جلد دوم (ترجمه)، انتشارات خراسان، ۵۸۸ ص.

گلستانیان، ن. و بهار، م. (۱۳۷۶)، فیزیک هالیدی (الکتریسیته و مغناطیس)، جلد سوم (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی، ۴۱۱ ص.

ملک زاده، غ.، کاشانی حصار، م. و معتمدی، م. (۱۳۷۵)، مکانیک سیالات (ترجمه). انتشارات نما، ۵۲۸ ص.

موسوی، م. (۱۳۸۳)، مدارهای الکتریکی (ترجمه). انتشارات خراسان، ۳۰۰ ص.

نوربخش، ا. (۱۳۸۲)، پمپ و پمپاژ. موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۲۲۸ ص.

یوسف‌زاده، ح.(۱۳۸۲)، آموزش EWB (Electronic Work Bench 5.12). مؤسسه علمی و فرهنگی نص، ۲۰۰ ص.

Kuphaldt, T.R., (2006), Lessons in electric circuits. http://www.ibiblio.org/obp/electric circuits.

Archive of SID

www.SID.ir